

СЕКЦИЯ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ В МАТЕРИАЛАХ ПРИ ЭКСТРИМАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИНДУЦИРОВАННЫЙ ВОДОРОДОМ ИЗГИБ ПЛАСТИНЫ ИЗ ПАЛЛАДИЯ

Любименко Е.Н., Гольцова М.В.

Руководитель – проф., д.т.н. Гольцов В.А.

Донецкий национальный технический университет, Украина, г. Донецк
Lyubimenko@inbox.ru

Палладий является уникальным металлом, способным поглощать и «пропускать» через себя водород, на чём основано его применение в качестве материала для фильтров диффузионной очистки водорода. При этом, водород, растворённый в палладии, существенно расширяет его кристаллическую решётку. При одностороннем насыщении водородом палладиевой пластинки возникает градиент концентрации водорода и градиент расширения кристаллической решётки [1]. Соответственно, в металле генерируются концентрационные (градиентные) водородные напряжения, вызывающие изгиб консольно закреплённой пластинки.

В настоящей работе была поставлена задача изучить закономерности изгиба палладиевой пластинки, индуцированного проникновением водорода, в широком интервале температур (110...350 °С) и постоянном давлении 0,03 МПа.

Для ее решения потребовалось создать новую водородо-вакуумную установку (ВВУ-4), которая позволила выполнить исследования до 360 °С и в интервале рабочих давлений от 0,01 МПа до 2,5 МПа, ее подробное описание приведено в работе [2]. В качестве образца использовали пластинку из палладия (68×5,5×0,27 мм), предварительно с одной стороны электролитически покрытую медью.

После установки образца в рабочую камеру его подвергали низкотемпературному вакуумному отжигу путем медленных нагревов до температуры эксперимента со скоростью 3 °С/min и последующих охлаждений с электропечью, для снятия остаточных напряжений.

Эксперименты проводили по следующей схеме: образец нагревали до температуры эксперимента, затем подавали водород до конечного давления $P_{H_2} = 0,03$ МПа, одновременно наблюдали изгиб палладиевой пластинки в рабочей камере установки и фиксировали изгибы на видеокамеру Samsung, соединенную с катетометром. После достижения некоторого максимального изгиба (y_{max}) пластинка начинала разгибаться и приходила в некое стационарное состояние ($y_{ст}$) за время Δt . Далее

проводили дегазацию рабочей камеры и образца. Результаты, зафиксированные на видеопленку, расшифровывали в программе Sony Vegas, благодаря такой постановке эксперимента нам удалось детально проанализировать все этапы формоизменения палладиевой пластинки.

Результаты этих экспериментов обобщены на рисунке 1.

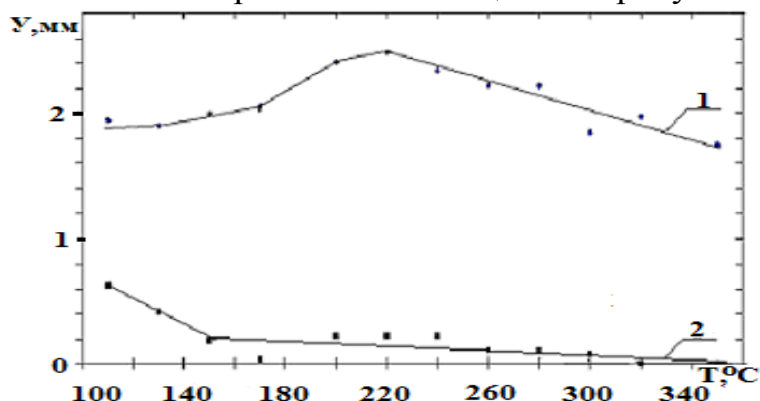


Рисунок 1. Температурные зависимости максимального (y_{\max}) (1) и стационарного ($y_{\text{ст}}$) (2) формоизменения Pd-пластины при $P_{\text{H}_2} = 0,03$ МПа

Как видно из этого рисунка, с ростом температуры вначале максимальный изгиб пластинки (y_{\max}) закономерно увеличивается, от 1,9 при 110 °C, достигая максимума 2,5 мм при 240 °C. В дальнейшем с повышением температуры от 240 до 350 °C y_{\max} закономерно уменьшается вплоть до 1,8 мм.

Иначе ведёт себя остаточная стационарная деформация образца ($y_{\text{ст}}$): при 110 °C она оказывается весьма большой и достигает ~ 30 % от y_{\max} при этой температуре. С ростом температуры до 150 °C y_{\max} весьма интенсивно уменьшается. Затем в интервале температур (150...240 °C) y_{\max} флуктуирует, от $y_{\text{ст}} = 8,9$ до $y_{\text{ст}} = 9,3$ %, что, является следствием сопутствующих экспериментальных факторов. С дальнейшим ростом температуры выше 260 °C стационарное остаточное формоизменение вполне закономерно уменьшается, становясь равным нулю при температурах 320 °C и 350 °C. Таким образом, при высоких температурах явление индуцированного водородом изгиба пластинки становится полностью обратимым даже при столь малом давлении водорода.

Описанные выше результаты находятся в качественном согласии с выводами теоретической работы [3], где в рамках водородоупругой модели осуществлены расчёты тормозящего влияния восходящей диффузии водорода на диффузионный фиковский поток водорода в палладии. Эти выводы показывают, что при низких температурах (110...150 °C) диффузионный поток водорода исключительно сильно, в десятки раз, ослабляется. Очевидно, что именно это является причиной того, что за время нашего эксперимента при 110 и 130 °C концентрация водорода по толщине пластинки не выровнялась и наблюдалась очень большая

остаточная деформация пластинки. С ростом температуры коэффициент диффузии сильно возрастает и противодействующее влияние восходящей диффузии относительно ослабляется. Соответственно, мы наблюдаем при 320 и 350 °С полную обратимость изучаемого явления за время эксперимента. Принципиально важным является то, что в данных условиях эксперимента содержание водорода в пластинках остаётся в пределах α -фазы (гидридная фаза не образуется). Однако по сечению пластинки формируется временный когерентный упруго напряженный материал α -PdH_n с переменной по сечению «концентрацией» водорода. Изгиб пластинки – это результат формирования и «работы» этого временного градиентного материала.

Таким образом, обобщая, можно сказать, что экспериментальные результаты, представленные на рис.1, свидетельствуют, что при насыщении палладия водородом с увеличением температуры эксперимента сильно изменяется ход формирования и свойства временного когерентного упруго напряжённого градиентного материала α -PdH_n.

Выводы:

1. Создана новая экспериментальная установка ВВУ-4 для исследования формоизменения палладиевой пластины при насыщении водородом с видеозаписью протекающих процессов. Проведены эксперименты по исследованию влияния температуры на формоизменение палладиевой пластины при насыщении газообразным водородом.

2. Установлено, что с ростом температуры от 110 °С (P_{H₂} = 0,03 МПа) величина максимального изгиба пластины увеличивается вплоть до температуры 220 °С, а потом снижается вплоть до 350 °С. При этом остаточный изгиб с ростом температуры закономерно уменьшается и при T > 300 °С явление становится полностью обратимым.

3. При насыщении палладия водородом с увеличением температуры эксперимента сильно изменяется ход формирования и свойства временного когерентного упруго напряжённого градиентного материала α -PdH_n.

Используемые литературные источники:

1. Goltsov V. A. Progress in Hydrogen Treatment of Materials / [V.A. Goltsov, editor]. – Donetsk-Coral Gables: Kassiopeya Ltd. – 2001. – 543 p.

2. Любименко Е.Н. Экспериментальное изучение водородоупругой деформации палладиевой пластинки / ПХ Международная научно-техническая Уральская школа-семинар металлословов-молочных ученых, Екатеринбург, 2008.– 218 с.

3. Glukhova Zh.L., Goltsov V.A., Lyubimenko E.N., Kotelva R.V. The mathematical modeling of the hydroelastic effect of slowing down of the diffusion processes in metal-hydrogen systems / Int. Journal of Nuclear Hydrogen Production and Applications.–2008.– Vol.1, No.4. – P.334-342.